第46卷 第5期
2023年5月

干旱区地理
ARID LAND GEOGRAPHY

Vol. 46 No. 5
May 2023

准噶尔盆地西部花粉对植被的指示性研究

韩岳婷， 李建勇， 刘剑波， 杨 锐， 牛地园

（西北大学城市与环境学院，陕西 西安 710127）

摘 要：基于准噶尔盆地西部46个样方的植被调查和表土花粉资料，估算了19种主要花粉类型的联合指数（A）、低代表性指数（U）、超代表性指数（O）、代表性系数（R）、区内无植被出现时某花粉类型百分比的平均值（M_a）、区内有植被出现时某花粉类型百分比的平均值（M_p）、样方花粉组合与植物群落间相似系数（CC），定量描述花粉对植被的指示性。结果表明：第1组包括藜科，A值为1.0，O、U值均为0，R值为12.5，M_p远大于M_a，对植被指示意义明显；第2组包括蒿属和麻黄属，A值在0.1~0.4之间，O值在0.6~0.9之间，U值均为0，R值大于18.5，M_p与M_a相差3.6%~12.1%，对植被具较明显指示意义；第3组包括白刺属、百合科、唇形科、豆科、禾本科、菊科、蓼科、毛茛科、蔷薇科、伞形科、莎草科、十字花科、石竹科、旋花科、荨麻科和紫草科，A值小于0.6，U值在0.2~0.9之间，O值在0.1~1.0之间，R值小于4.0，M_p与M_a相差小于4.9%，对植被指示意义不明。研究结果可为利用化石花粉资料准确恢复古植被提供参考依据。

关 键 词：花粉；植被；代表性指数；相似系数；准噶尔盆地

文章编号：1000－6060(2023)05－0773－09(0773～0781)

花粉分析是重建古时期植被区系及分析植被类型时空演变的主要方法。花粉组合因受花粉产量、传播机制、植物生物学特性、气候条件、沉积环境等诸多因子的影响[1-3]，使得花粉与植被的关系较为复杂，不同花粉组合反应的植被信息与真实情况存在显著差异，因此需要研究花粉与植被的定量关系。

20世纪60年代Davis[4]提出了代表性系数（R）概念，首次对花粉与植被之间的关系进行了定量描述。由于R值受到不同研究区和植被带的影响较大，且没有考虑到外来花粉对研究结果的影响，Davis[5]后来又提出了联合指数（A）、低代表性指数（U）和超代表性指数（O）的概念，代表性指数仅受花粉自身传播特性的影响，数值相对比较稳定，适用于不同的空间范围，既可以在大范围内研究植被的地带性与表土花粉带谱之间的关系，也可以在小区域中研究不同植被群落的花粉组合特征[6-13]。

国外利用代表性指数对花粉与植被关系的研究集中在美洲[5,14-15]、欧洲[16-17]等区域，而我国关于花粉代表性指数的定量研究主要分布在荒漠区东部[18-20]、华北和华中地区[6-9]。目前，西北的新疆地区相关研究仍然以R值的计算为主[21-30]，而针对多种花粉代表性指数的综合定量研究相对匮乏。新疆地处亚欧大陆中部，是中国西北地区典型的干旱、半干旱区域，植被对环境变化较为敏感，又因季节性河流、强风等搬运外来花粉的能力很强，形成了较为复杂的花粉传播机制，花粉与植被之间的代表性关系也成为众多学者研究的热点问题。因此，本文聚焦新疆的准噶尔盆地西部，运用代表性指数定量描述花粉对植被的指示性，为利用花粉数据重建该地区古植被提供依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

研究区（44°02′~45°23′N，79°53′~83°53′E）地处

收稿日期：2022-09-04； **修订日期**：2022-11-16
基金项目：国家自然科学基金项目（41801090）资助
作者简介：韩岳婷（1999-），女，硕士研究生，主要从事第四纪地质与环境研究. E-mail: yuetinghan2020@163.com
通讯作者：李建勇（1987-），男，博士，教授，主要从事气候变化与植被生态恢复、人类活动与环境相互作用等方面研究.
E-mail: lijy@nwu.edu.cn

新疆西部的博尔塔拉蒙古自治州(简称博州)及其周边区域,位于中国西北边境,毗邻哈萨克斯坦,西起博乐市,东至石河子市,北到塔城市,南达伊宁市,属北天山地槽褶皱带的一部分;区内海拔188~2674 m,地势西高东低,自南向北依次是别珍套山、博尔塔拉谷地和艾比湖盆地、阿拉套山,共同构成三大地貌类型单元[31]。研究区距海较远,属北温带,大陆性气候特征显著,较为干旱,光照充足;气温年较差和日较差大,年平均气温4~9 ℃;年均降水量为90~500 mm[32],分布不均且蒸发量大。博州有野生植物1400余种,其中含国家重点保护植物15种,主要植被类型有胡杨(*Populus euphratica*)、白梭梭(*Haloxylon persicum*)、中麻黄(*Ephedra intermedia*)、肉苁蓉(*Cistanche deserticola*)、甘草(*Glycyrrhiza uralensis*)、沙拐枣(*Calligonum mongolicum*)、雪莲(*Saussurea involucrate*)、秦艽(*Gentiana macrophylla*)等[32]。研究区植物主要为禾本科(Poaceae)、藜(*Chenopodium album*)、蒿属(*Artemisia*)、锦鸡儿(*Caragana sinica*)、针茅(*Stipa capillata*)、委陵菜(*Potentilla chinensis*)、麻黄(*Ephedra sinica*)、梭梭(*Haloxylon ammodendron*)、莎草科(Cyperaceae)、菊科(Asteraceae)、骆驼刺(*Alhagi camelorum*)。

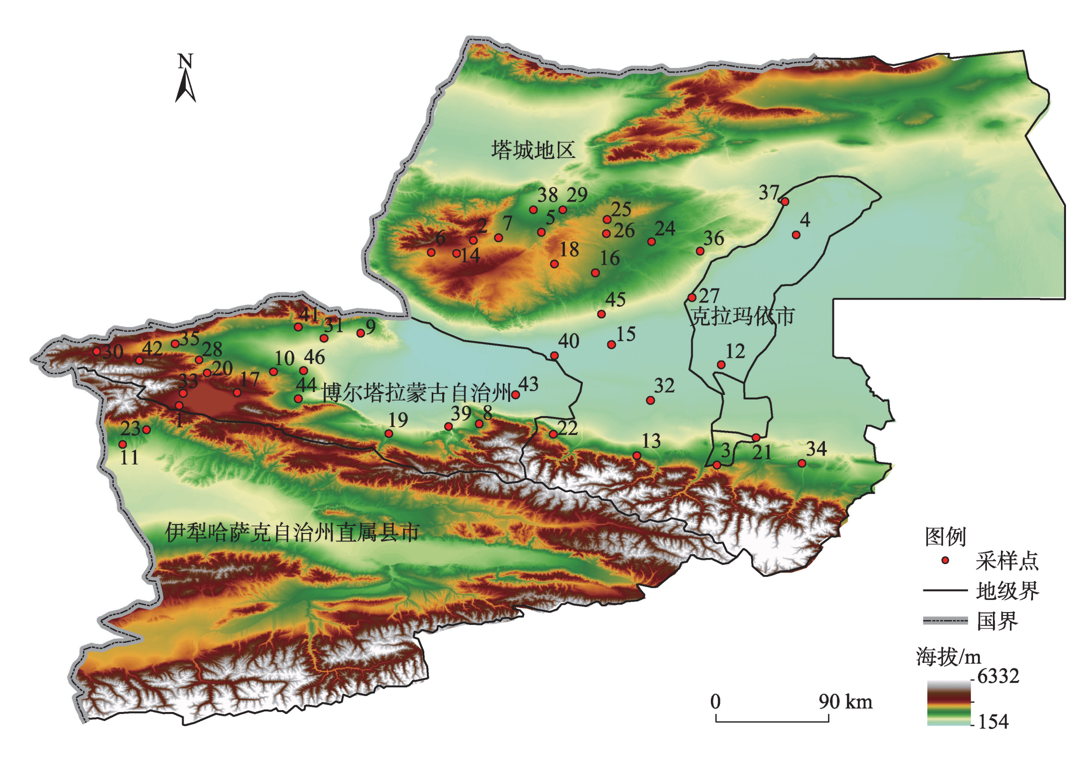
1.2 野外样品采集

2018年同时进行了表土样品采集与植被群落调查,综合考虑海拔、人类活动和植被带等情况,在研究区以梅花点采样法收集了表土花粉样品,从样方四角以及中间各自取样并进行均匀混合,每个样品重约50~100 g,使用全球定位系统(GPS)定位,并对采样点周围植物的种名、盖度、多度等植被信息进行了调查统计。本次采集表土花粉样品共计46个,采样点坐标信息及植被概况见图1、表1[33]。

1.3 样品及数据处理

实验室表土样品处理的目标是去除样品中杂质,获得花粉颗粒。对表土样品采用酸碱处理及重液浮选法进行花粉提取。花粉的鉴别与统计工作在400倍的Olympus光学生物显微镜下完成,每个样品鉴定统计花粉400粒以上[33-34]。

对每个样品分别计算了联合指数(A)、低代表性指数(U)、超代表性指数(O)、代表性系数(R)、相似系数(CC)、区内无植被出现时某花粉类型百分比的平均值(M_a)、区内有植被出现时某花粉类型百分比的平均值(M_p)。A值高对应的花粉类型代表性较好;U值高的花粉不易从表土中提取;O值高的花粉类型与植被对应关系较差[19];R值多用于描述花粉



注:该图基于国家测绘地理信息局标准地图服务网站下载的审图号为GS(2022)4307号的标准地图制作,底图边界无修改。

图1 准噶尔盆地西部表土花粉采样点分布

Fig. 1 Distribution of sampling sites of surface pollen in western Junggar Basin

表1 准噶尔盆地西部荒漠区取样点坐标及植被概况

Tab. 1 Coordinates of sampling points and vegetation cover condition in desert region of western Junggar Basin

样点编号	纬度/N	经度/E	海拔/m	群落类型	主要植物类型	植被盖度/%	相似系数
1	44°53′05″	80°40′26″	2674	针茅群落	针茅、莎草科、唐松草、菊科、禾本科等	96.64	0.41
2	44°39′24″	81°22′43″	2236	禾本+地衣+莎草群落	禾本科、地衣、藜科、莎草科、景天科等	59.01	0.54
3	44°57′07″	80°22′01″	2121	戈壁针茅+冷蒿群落	锦鸡儿、戈壁针茅、冷蒿、莎草、委陵菜等	55.03	0.35
4	44°33′47″	80°57′33″	2098	禾本+虎耳草群落	禾本科、虎耳草、苜蓿属、蓼科、豆科、茜草科、唐松草、麻黄等	49.59	0.43
5	44°39′02″	80°59′22″	2063	针茅群落	针茅、禾本科、龙胆科、老鹳草、蓝花棘豆、蒿属等	93.24	0.55
6	44°16′51″	80°33′17″	1892	骆驼刺+针茅群落	戈壁针茅、猪毛菜、骆驼刺、冷蒿、藜科、瓦松、菊科等	50.61	0.66
7	45°44′54″	83°04′36″	1862	蒿属+委陵菜群落	委陵菜、蒿属、针茅、锦鸡儿、莎草科、菊科等	95.50	0.51
8	45°39′22″	82°57′24″	1855	禾本+委陵菜群落	禾本科、委陵菜、地衣等	94.07	0.59
9	45°39′45″	82°46′24″	1830	针茅+蒿属+萎陵菜群落	针茅、委陵菜、蒿属、藜科、豆科等	48.15	0.49
10	45°34′48″	83°39′36″	1762	禾本+菊科群落	禾本科、菊科、玄参科、委陵菜、蒿属、锦鸡儿、麻黄等	96.32	0.34
11	44°47′44″	81°09′42″	1659	禾本+蒿群落	大籽蒿、禾本科、锦鸡儿、蒿属、白刺等	59.01	0.45
12	45°54′00″	84°02′24″	1580	针茅+蒿+委陵菜+麻黄群落	锦鸡儿、麻黄、戈壁针茅、莎草、委陵菜、蒿属等	55.13	0.48
13	45°47′57″	84°02′09″	1580	蒿+委陵菜+麻黄+针茅群落	针茅、莎草、委陵菜、蒿属、麻黄、报春花等	29.22	0.26
14	45°46′06″	83°15′26″	1577	委陵菜+禾本群落	委陵菜、禾本科、狗娃花、莎草等	61.51	0.58
15	45°48′31″	83°33′58″	1440	禾本+委陵菜+蒿属+锦鸡儿群落	禾本科、委陵菜、地衣、蒿属、锦鸡儿等	62.67	0.28
16	44°08′05″	84°49′44″	1438	锦鸡儿+灌木旋花+禾本群落	锦鸡儿、蔷薇科、灌木旋花、禾本、蒿属、豆科、荨麻等	77.77	0.52
17	44°53′24″	81°06′17″	1437	蒿+禾本+锦鸡儿群落	禾本科、蒿属、锦鸡儿、麻黄、苋科等	48.07	0.66
18	45°00′16″	80°55′48″	1425	禾本+狗娃花+灌木旋花群落	禾本科、狗娃花、刺柏、锦鸡儿、旋花等	45.67	0.54
19	45°31′00″	83°57′13″	1338	锦鸡儿+禾本+蒿群落	禾本科、蒿属、锦鸡儿、狗娃花、委陵菜、藜科、瓦松等	81.44	0.54
20	44°12′04″	84°15′13″	1333	莎草群落	莎草、荨麻、蒿属、禾本科、骆驼蓬等	69.90	0.32
21	44°48′21″	81°38′19″	1300	锦鸡儿+小针茅+其他杂草群落	锦鸡儿、针茅、藜科、菊科、十字花科、唇形科等	63.55	0.62
22	44°25′48″	83°07′12″	1208	藜+蒿群落	藜科、禾本科、地衣、蒿属等	50.53	0.49
23	44°21′17″	83°39′02″	1150	蒿属+骆驼刺+猪毛菜群落	骆驼刺、针茅、蒿属、藜科、猪毛菜、禾本科等	32.76	0.74
24	44°23′20″	80°43′30″	1096	苦豆子+水松+菊科群落	禾本科、苦豆子、菊科、水松、莎草科等	69.73	0.32
25	45°07′39″	81°49′00″	1066	针茅群落	藜科、旋花科、莎草科、针茅、蒿属、委陵菜等	26.98	0.49
26	45°44′24″	84°21′36″	1020	蒙古韭+麻黄+禾本+锦鸡儿群落	禾本科、蒙古韭、麻黄、狗娃花、锦鸡儿、小蓬菜、蒿属等	6.36	0.64
27	45°58′12″	83°30′36″	944	藜科群落	藜科、禾本科、狗娃花、刺柏、锦鸡儿、卷柏、景天科等	37.65	0.27
28	44°08′42″	85°26′32″	915	针茅+蒿属+藜群落	灌木、蒿属、针茅、藜科、十字花科等	43.57	0.62
29	44°21′36″	82°28′12″	875	锦鸡儿+梭梭群落	锦鸡儿、梭梭、西伯利亚刺柏、猪毛菜、麻黄、藜科、菊科等	27.53	0.43
30	44°36′42″	81°49′02″	874	锦鸡儿+麻黄群落	锦鸡儿、禾本科、麻黄、葱属、刺柏等	30.87	0.77
31	44°48′52″	81°51′17″	870	禾本科+藜科+骆驼刺群落	锦鸡儿、骆驼刺、藜科、禾本科、骆驼蓬、麻黄、刺柏等	33.54	0.42
32	45°02′41″	82°00′06″	763	刺藜+白刺+盐爪爪群落	刺藜、盐爪爪、白刺、猪毛菜、禾本科、十字花科、菊科等	32.78	0.39
33	45°40′28″	84°42′32″	698	麻黄+藜+苦荬菜群落	麻黄、藜科、苦荬菜、蒙古韭、锦鸡儿等	14.60	0.39
34	45°04′59″	82°16′01″	693	白刺+刺藜群落	猪毛菜、小蓬菜、白刺、刺藜等	32.49	0.54
35	44°24′36″	82°54′00″	590	藜+小蓬菜群落	藜科、禾本科、小蓬菜、灌木旋花等	41.32	0.53
36	44°19′48″	85°06′36″	581	梭梭+藜科群落	梭梭、藜科、麻黄、骆驼刺、针茅、蒿属、禾本科等	28.66	0.46
37	45°13′09″	83°59′58″	549	蒿+禾本群落	梭梭、禾本科、蒿属、小蓬菜、藜科、茜草科等	42.43	0.59
38	45°58′12″	83°43′12″	491	梭梭群落	梭梭、禾本科、狗娃花、莎草等	27.59	0.67
39	45°20′24″	84°39′00″	400	藜科群落	禾本科、藜科、蒿属等	40.48	0.30
40	46°01′48″	85°19′12″	356	梭梭群落	禾本科、梭梭、豆科、茜草科、唐松草、麻黄等	9.03	0.69

表1(续)

样点编号	纬度/N	经度/E	海拔/m	群落类型	主要植物类型	植被盖度/%	相似系数
41	44°36′00″	84°21′00″	306	红纱+珍珠梅+白刺群落	红纱、珍珠梅、白刺、补血草、藜科等	44.49	0.37
42	44°51′24″	84°51′38″	247	梭梭+蒿+藜群落	梭梭、禾本科、菊科、蒿属、牻牛儿苗科、藜科、骆驼蓬等	72.49	0.49
43	45°47′24″	85°24′00″	214	柽柳+藜科群落	柽柳、藜科、禾本科、苦豆子、菊科、莎草科、麻黄等	15.32	0.61
44	45°00′00″	84°04′12″	206	梭梭+柽柳群落	禾本科、梭梭、柽柳、藜科、骆驼刺等	89.05	0.42
45	44°38′24″	83°22′48″	190	胡杨+梭梭+柽柳群落	梭梭、白刺、胡杨、猪毛菜、柽柳、藜科等	40.09	0.66
46	44°55′12″	83°39′36″	188	藜科+骆驼刺群落	骆驼刺、蒿属、狗娃花、委陵菜、藜科、柽柳等	62.45	0.41

类型与植被的对应关系;CC主要描述花粉类型与植被盖度的对应关系;M_a与M_p值相差越大,表明花粉对植被的代表性越好。

各代表性指数的计算主要依据Davis[5]提出的计算公式:

$$A=\frac{B_0}{P_0+P_1+B_0} \quad (1)$$

$$U=\frac{P_1}{P_1+B_0} \quad (2)$$

$$O=\frac{P_0}{P_0+B_0} \quad (3)$$

$$R=\frac{P}{V} \quad (4)$$

$$CC=\frac{2c}{(a+c)+(b+c)}\times 100\% \quad (5)$$

式中:B_0为区内含有该种属花粉及其对应植物的样品数;P_0为区内含有该种属花粉,不含其对应植物的样品数;P_1为区内含有该种属植物,不含对应花粉的样品数;P为该植物在此样点的百分含量;V为该植物的覆盖度;a为仅存在表土花粉的种类数;b为仅存在植物的种类数;c为既存在表土花粉又存在植物的种类数。

2 结果与分析

2.1 花粉组成特点

研究区46个样品共鉴定出35个花粉类型,其中常见的花粉类型包括19种:豆科(Fabaceae)、蔷薇科(Rosaceae)、白刺属(*Nitraria*)、藜科(Chenopodiaceae)、禾本科、蒿属(*Artemisia*)、十字花科(Brassicaceae)、菊科、麻黄属(*Ephedra*)、唇形科(Labiatae)、蓼科(Polygonaceae)、伞形科(Umbelliferae)、毛茛科(Ranunculaceae)、石竹科(Caryophyllaceae)、荨麻科(Urticaceae)、百合科(Liliaceae)、旋花科(Convolvulaceae)、莎草科和紫草科(Borraginaceae)。

牛地园等[33]已经对所有样品的花粉组合特征和蒿藜比等相关信息进行了描述:乔木花粉以松属(*Pinus*)、云杉属(*Picea*)为主,花粉百分比不超过5%;灌木花粉以麻黄属、蔷薇科为主,麻黄属花粉百分比在20%左右,部分样点可达40%,蔷薇科花粉百分比在5%左右;草本花粉以藜科、蒿属为主,多数样点的藜科花粉百分比在30%以上,部分样点超过50%,蒿属花粉百分比在20%左右,禾本科、莎草科和菊科花粉百分比在7%左右,其他草本花粉百分比均在5%以下。

2.2 花粉类型对植被的指示性

为了定量估计不同种类花粉对植被的代表性,基于19个花粉类型的A、O、U、R、M_p、M_a及CC值的计算,将花粉类型分为3组(表2)。

第1组包括藜科,A值为1.0,U和O值均为0,R值为12.5,M_a为47.89%,M_p为21.20%,花粉与植被之间具有较强的相关性,对植被的指示意义明显;第2组包括蒿属和麻黄属,A值均较低(0.1~0.4),U值均为0,O值均较高(0.6~0.9),R值较高,在18.5以上,M_p和M_a相差3.6%~12.1%,能够指示植物的分布;第3组包括白刺属、百合科、唇形科、豆科、禾本科、菊科、蓼科、毛茛科、蔷薇科、伞形科、莎草科、十字花科、石竹科、旋花科、荨麻科和紫草科,本组除禾本科外,A值均较低,在0.6以下,U值均较高(0.2~0.9),O值在0.1~1.0之间,R值小于4.0,M_p和M_a相差0~4.9%,而禾本科的A值为1.0,O值、U值均为0,但R值仅为0.26,属于低代表性花粉,表明花粉与植被的相关性较低,指示关系不明显。

3 讨论

植物群落与表土花粉的相似系数介于-0.34~0.71之间,与李月丛等[19]对中国荒漠区东部的研究结果(0.29~0.80)相差不大,低于中国东北样带的相

表2 准噶尔盆地西部花粉相关系数

Tab. 2 Correlation coefficient of pollen in western Junggar Basin

组别	种属	拉丁学名	A	U	O	CC	R	M_p/%	M_a/%
第1组	藜科	Chenopodiaceae	1.00	0.00	0.00	0.71	12.50	47.89	21.20
第2组	蒿属	*Artemisia*	0.39	0.00	0.61	0.57	18.93	24.84	12.67
	麻黄属	*Ephedra*	0.17	0.00	0.83	0.14	18.80	11.21	14.80
第3组	白刺属	*Nitraria*	0.19	0.00	0.81	0.39	0.46	0.01	0.01
	百合科	Liliaceae	0.22	0.67	0.61	−0.14	1.09	0.20	2.50
	唇形科	Labiatae	0.24	0.57	0.65	0.13	0.38	0.27	0.16
	豆科	Fabaceae	0.31	0.50	0.56	0.09	0.18	0.79	1.12
	禾本科	Poaceae	1.00	0.00	0.00	0.51	0.26	8.32	3.43
	菊科	Asteraceae	0.07	0.88	0.87	−0.29	0.44	2.31	2.87
	蓼科	Polygonaceae	0.28	0.48	0.62	−0.32	0.34	0.19	0.34
	毛茛科	Ranunculaceae	0.09	0.56	0.90	0.13	3.90	3.10	4.25
	蔷薇科	Rosaceae	0.27	0.54	0.60	0.12	0.94	2.65	1.45
	伞形科	Umbelliferae	0.26	0.63	0.54	0.08	0.20	0.27	0.36
	莎草科	Cyperaceae	0.28	0.57	0.56	−0.12	0.45	3.43	0.98
	十字花科	Brassicaceae	0.26	0.42	0.67	0.28	0.53	0.43	0.64
	石竹科	Caryophyllaceae	0.50	0.29	0.38	0.04	0.67	0.10	0.44
	旋花科	Convolvulaceae	0.38	0.60	0.11	0.11	0.47	0.56	0.38
	荨麻科	Urticaceae	0.05	0.88	0.93	−0.34	1.23	0.84	1.88
	紫草科	Boraginaceae	0.53	0.43	0.11	0.17	1.57	0.32	0.98

注：A为联合指数；U为低代表性指数；O为超代表性指数；CC为相似系数；R为代表性系数；M_a为区内无植被出现时某花粉类型百分比的平均值；M_p为区内有植被出现时某花粉类型百分比的平均值。

似系数(0.09~1.00)[35]，表明样品中含有一定比例的外来花粉，由于干旱区的地势相对平坦和多风气候，花粉易于被远距离传播[1,36]，另外pH、干湿度、氧化还原程度等土壤性质也会对花粉含量产生一定的影响[37−39]。本文研究区花粉组合中尽管含有少量外来花粉，但花粉与植被共有种类的花粉百分比均在75%以上，因此花粉可反应植被群落的总体特征[19]。

藜科花粉A值为1.0，O值和U值均为0，R值为12.5，M_p远大于M_a，表现出较强的代表性，与前人在荒漠草原区的研究结果较为一致[2,40]，R值较中国荒漠区东部(11.93)[19]高。蒿属和麻黄属是干旱、半干旱地区的优势植物种属，A值较低，U值为0，O值和R值较藜科花粉高，M_p大于M_a，蒿属花粉R值略大于荒漠区东部(16.45)[19]，花粉表现为超代表性，与前人研究结果一致性较好[2,35]。蒿属和藜科花粉具有产量大、传播强、易保存的特点，在亚洲干旱、半干旱地区的表土花粉中通常表现出超代表性[41−42]，研究表明在两者之和大于50%时，对指示干旱、半干旱区荒漠植被具有重要意义，由此成为推演研究区内过去干湿变化的一个重要指标[42−44]。麻黄属花粉出现于本研究的多数样品中，但部分高海拔样点周围没有发现麻黄属植物，可能与山谷上升气流对植物花粉具有较强的搬运能力有关[45]。

禾本科花粉A值为1.0，O值和U值均为0，R值为0.26，禾本科植物根系浅，生长状况与水分关系密切，通常可指示环境干湿程度，是草原地区的优势植物种属。禾本科花粉传播能力弱，多集中分布在母体植物周围[1]，M_p、M_a分别为8.32%、3.43%，研究表明禾本科花粉的低代表性与植物自身花粉产量密切相关。莎草科花粉A值为0.28、O值、U值均小于0.6，R值仅为0.45，与中国东北样带研究结果一致性较高，花粉百分比受母体植物影响较大，存在莎草科植物时高于无植物出现时的花粉百分比(相差2.45%)，由于莎草科花粉外壁较薄、不易保存，易受沉积环境影响，导致花粉和植被的关系呈弱相关性[1−3,44−45]。

百合科、蓼科、毛茛科、石竹科、旋花科、白刺属、荨麻科和紫草科的A值均在0.5以下，O值和U值小于1.0，R值小于4.0，研究结果与中国东北样带及中国荒漠区东部保持一致，花粉均呈现出低代表性[8,19,35,46]。

菊科、唇形科、豆科、伞形科、十字花科和蔷薇科花粉的A值小于0.4,O值与U值小于1.0,R值小于1.0,都属低代表性花粉,对植被的指示性较低,这些种属的花粉在其他研究区域除了呈现出低代表性外,还显示为其他类型的代表性,如菊科植株多矮小,花粉多集中在近地面植株附近,因此菊科花粉在含母体植物出现时代表性较好;在锦鸡儿灌丛、针阔混交林中,豆科花粉与植被有较好的对应关系;白刺属植物受水源影响较大,本研究区内分布着准噶尔盆地最大的湖泊——艾比湖,南侧流经博尔塔拉河,是导致白刺属花粉呈现低代表性的主要原因之一,花粉代表性的结果差异主要受不同研究区气候、植被、地势等因素的影响[2,19-21,47]。

R值受样方统计、植被盖度等的影响较大,在样点数量足够多、植被种类和数量相差不大时通常数值比较稳定,花粉代表性由植物特点及自身传播性质决定,研究区内反应的R值总体偏高,但因各样点局地气候差异,植被变化较为明显,花粉传播又多受人类活动影响,与前人在荒漠区的研究结果一致性较好。

4 结 论

本文依据19个主要花粉类型A、O、U、R、M_p、M_a值的计算结果,可以将花粉类型划分为3组:第1组(藜科)A值为1.0,U值、O值均为0,M_p与M_a相差26.7%,花粉对植被具有良好的指示性;第2组(蒿属、麻黄属)A值大于0.1、U值为0,O值大于0.6、M_p与M_a差值介于3.6%和12.1%之间,花粉对植被具较明显的指示意义;第3组(白刺属、百合科、唇形科、豆科、禾本科、菊科、蓼科、毛茛科、蔷薇科、伞形科、莎草科、十字花科、石竹科、旋花科、荨麻科、紫草科)A值小于0.6,U值大于0.2、O值大于0.1、M_p与M_a差值小于4.9%,花粉对植被的指示意义不明显。考虑到研究区自然条件、植物本身特性影响,总体上本文与前人研究结果具有较高一致性,可以为重建研究区古植被提供参考依据。

参考文献(References)

[1] 王开发, 王宪曾. 孢粉学概论[M]. 北京: 北京大学出版社, 1983. [Wang Kaifa, Wang Xianceng. An introduction to palynology[M]. Beijing: Peking University Press, 1983.]

[2] 李月丛, 许清海, 肖举乐, 等. 中国北方森林植被主要表土花粉类型的对植被的指示性[J]. 第四纪研究, 2005, 25(5): 598-608. [Li Yuecong, Xu Qinghai, Xiao Jule, et al. Indication of some major pollen taxa in surface samples to their parent plants of forest in northern China[J]. Quaternary Sciences, 2005, 25(5): 598-608.]

[3] Cushing E J, Wright H E. Introduction in quaternary palaoecology [J]. New Haven and London: Yale University Press, 1967.

[4] Davis M B. On the theory of pollen analysis[J]. Journal of America Science, 1963, 261: 897-912.

[5] Davis O K. Pollen frequencies reflect vegetation patterns in a Great Basin (USA) mountain range[J]. Review of Palaeobotany and Palynology, 1984, 40: 295-315.

[6] 许清海, 李月丛, 阳小兰, 等. 中国北方几种主要花粉类型与植被定量关系[J]. 中国科学, 2007, 37(2): 192-205. [Xu Qinghai, Li Yuecong, Yang Xiaolan, et al. Quantitative relationship between pollen types and vegetation in northern China[J]. Science in China, 2007, 37(2): 192-205.]

[7] 李月丛, 许清海, 肖举乐, 等. 中国北方几种灌丛群落表土花粉与植被关系研究[J]. 地理科学, 2007, 27(2): 205-210. [Li Yuecong, Xu Qinghai, Xiao Jule, et al. Relationship between surface pollen and vegetation in some shrub communities of northern China[J]. Scientia Geographica Sinica, 2007, 27(2): 205-210.]

[8] 李月丛, 许清海, 王学丽, 等. 中国北方森林群落现代花粉与植被和气候的关系[J]. 地理学报, 2008, 63(9): 945-957. [Li Yuecong, Xu Qinghai, Wang Xueli, et al. Modern pollen assemblages of the forest communities and their relationships with vegetation and climate in northern China[J]. Acta Geographica Sinica, 2008, 63(9): 945-957.]

[9] 张东良. 全新世西风模态下中亚干旱区孢粉类型多样性变化特征——以阿尔泰山为例[J]. 干旱区研究, 2022, 39(3): 667-675. [Zhang Dongliang. Changes of pollen taxa diversity in the arid Central Asia under the Holocene westerlies mode: A case study of the Altai Mountains[J]. Arid Zone Research, 2022, 39(3): 667-675.]

[10] 李芙蓉. 中国北方表土孢粉组合及其与植被和气候的关系[D]. 兰州: 兰州大学, 2012. [Li Furong. The surface pollen assemblages and their relationships with modern vegetation and climate in north China[D]. Lanzhou: Lanzhou University, 2012.]

[11] 刘鸿雁, 李宜垠. 半干旱区气候变化和人类活动的孢粉指示[J]. 古生物学报, 2009, 48(2): 211-221. [Liu Hongyan, Li Yiyin. Pollen indicators of climate change and human activities in the semi-arid region[J]. Acta Palaeontologica Sinica, 2009, 48(2): 211-221.]

[12] 程波, 朱艳, 陈发虎, 等. 石羊河流域表土孢粉与植被的关系[J]. 冰川冻土, 2004, 26(1): 81-88. [Cheng Bo, Zhu Yan, Chen Fahu, et al. Relationship between surface pollen and vegetation in Shiyang River Drainage, northwest China[J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 2004, 26(1): 81-88.]

[13] 赵楠楠, 杨振京, 宁凯, 等. 柴达木盆地表土孢粉与植被的关系[J]. 干旱区研究, 2020, 37(4): 1068-1078. [Zhao Nannan, Yang

Zhenjing, Ning Kai, et al. Relationship between surface pollen and vegetation in Qaidam Basin[J]. Arid Zone Research, 2020, 37 (4): 1068−1078.]

[14] Fontana S L. Coastal dune vegetation and pollen representation in south Buenos Aires Province, Argentina[J]. Journal of Biogeography, 2005, 32(4): 719−735.

[15] Marcos M A, Mancini M V. Modern pollen and vegetation relationships in northeastern Patagonia (Golfo San Matías, Río Negro)[J]. Review of Palaeobotany and Palynology, 2012, 171: 19−26.

[16] Bunting M J. Pollen-vegetation relationships in non-arboreal moorland taxa[J]. Review of Palaeobotany and Palynology, 2003, 125: 285−298.

[17] Schofield J E, Edwards K J, Mc Mullen J A. Modern pollen-vegetation relationships in subarctic southern Greenland and the interpretation of fossil pollen data from the Norse landnam[J]. Journal of Biogeography, 2007, 34(3): 473−488.

[18] 吴慧贤, 徐海, 蓝江湖, 等. 北疆表土花粉组合及其与植被和气候的关系[J]. 生态学杂志, 2018, 37(12): 3499−3507. [Wu Huixian, Xu Hai, Lan Jianghu, et al. Pollen assemblages in surface soil and their relationships with vegetation and climate in northern Xinjiang[J]. Chinese Journal of Ecology, 2018, 37(12): 3499−3507.]

[19] 李月丛, 许清海, 阳小兰, 等. 中国荒漠区东部花粉对植被的指示性研究[J]. 科学通报, 2005, 50(13): 1356−1364. [Li Yuecong, Xu Qinghai, Yang Xiaolan, et al. Indicative study of pollen on vegetation in eastern deserts of China[J]. Chinese Science Bulletin, 2005, 50(13): 1356−1364.]

[20] 伍婧, 马玉贞, 桑艳礼, 等. 宁夏大罗山表土样品中主要花粉类型的代表性[J]. 古生物学报, 2013, 52(1): 57−67. [Wu Jing, Ma Yuzhen, Sang Yanli, et al. Representation of major pollen taxa from surface samples of Daluoshan Mountain, Ningxia[J]. Acta Palaeontologica Sinica, 2013, 52(1): 57−67.]

[21] 薛雅倩. 新疆北部表土孢粉空间分布规律及其与植被的关系研究[D]. 石家庄: 河北地质大学, 2020. [Xue Yaqian. Study on the spatial distribution of surface sporopollen and its relationship with vegetation in Northern Xinjiang[D]. Shijiazhuang: Hebei GEO University, 2020.]

[22] 陶士臣, 安成邦, 赵家驹, 等. 新疆东部托勒库勒湖流域表土花粉初步分析[J]. 第四纪研究, 2013, 33(3): 545−553. [Tao Shichen, An Chengbang, Zhao Jiaju, et al. The preliminary study of the surface pollen from Tuolekule Lake Basin, eastern Xinjiang, China [J]. Quaternary Sciences, 2013, 33(3): 545−553.]

[23] 姚付龙, 马春梅, 朱诚, 等. 中国西天山北坡表土花粉与区域植被的关系[J]. 古生物学报, 2021, 60(3): 471−482. [Yao Fulong, Ma Chunmei, Zhu Cheng, et al. Relationship between surface pollen and vegetation on the northern slope of west Tianshan Mountains, China[J]. Acta Palaeontologica Sinica, 2021, 60(3): 471−482.]

[24] 姚付龙, 马春梅, 敬一丹, 等. 新疆赛里木湖流域表土花粉组合与现代植被关系研究[J]. 微体古生物学报, 2018, 35(4): 423−434. [Yao Fulong, Ma Chunmei, Jing Yidan, et al. Relationship between surface pollen assemblage and the vegetation in the Sayram Lake region, northern Xinjiang, China[J]. Acta Micropalaeontologica Sinica, 2018, 35(4): 423−434.]

[25] 冯晓华, 阎顺, 倪建. 新疆表土孢粉的植被定量重建[J]. 地理科学, 2011, 31(6): 702−707. [Feng Xiaohua, Yan Shun, Ni Jian. Pollen-based and quantitative reconstruction of Holocene palaeovegetation of surface soil of Xinjiang[J]. Scientia Geographica Sinica, 2011, 31(6): 702−707.]

[26] 李媛媛, 张芸, 孔昭宸, 等. 新疆阿尔泰红山嘴地区的表土孢粉与现代植被[J]. 植物生态学报, 2021, 45(2): 174−186. [Li Yuanyuan, Zhang Yun, Kong Zhaochen, et al. Surface sporopollen and modern vegetation in Hongshanzui area, Altai, Xinjiang, China [J]. Chinese Journal of Plant Ecology, 2021, 45(2): 174−186.]

[27] 姚付龙, 张静, 杨海军, 等. 新疆博格达山北坡表土花粉散布特征[J]. 生态环境学报, 2021, 30(3): 466−474. [Yao Fulong, Zhang Jing, Yang Haijun, et al. Surface pollen distribution on the north slope of Bogda Mountain, Xinjiang, China[J]. Ecology and Environmental Sciences, 2021, 30(3): 466−474.]

[28] 郎青, 姚付龙, 杨海军. 新疆中天山山间盆地表土花粉谱特征[J]. 生态学杂志, 2020, 39(8): 2518−2527. [Lang Qing, Yao Fulong, Yang Haijun. Surface pollen spectrum in intermountain basin of middle Tianshan, Xinjiang, China[J]. Chinese Journal of Ecology, 2020, 39(8): 2518−2527.]

[29] 王力, 张芸, 孔昭宸, 等. 新疆天山南坡吐鲁番地区表土花粉的初步研究[J]. 植物生态学报, 2017, 41(7): 779−786. [Wang Li, Zhang Yun, Kong Zhaochen, et al. Preliminary study on pollen distribution in the surface soil of the Turpan region in the southern slope of Tianshan Mountains, Xinjiang, China[J]. Chinese Journal of Plant Ecology, 2017, 41(7): 779−786.]

[30] 吴慧贤. 北疆表土花粉组合及其与植被和气候的关系[D]. 北京: 中国科学院大学, 2018. [Wu Huixian. Pollen assemblages of the surface soil and their relationships with the modern vegetation and climate in northern Xinjiang[D]. Beijing: University of Chinese Academy of Sciences, 2018.]

[31] 博尔塔拉蒙古自治州地方志编纂委员会. 博尔塔拉蒙古自治州志[M]. 乌鲁木齐: 新疆大学出版社, 1999. [Bortala Mongolian Autonomous Prefecture Local Chronicle Compilation Committee. Records of Bortala Mongolian Autonomous Prefecture[M]. Urumqi: Xinjiang University Press, 1999.]

[32] 博尔塔拉蒙古自治州党史研究室. 博尔塔拉年鉴 2014—2015 [M]. 乌鲁木齐: 新疆人民出版社, 2016. [Bortala Mongolian Autonomous Prefecture CPC History Research Office. Bortala Yearbook: 2014—2015[M]. Urumqi: Xinjiang People's Publishing House, 2016.]

[33] 牛地园, 李建勇, 王宁练, 等. 新疆天山西部表土花粉组合与现代植被和气候的关系[J]. 冰川冻土, 2022, 44(3): 1070−1082. [Niu Diyuan, Li Jianyong, Wang Ninglian, et al. Relationship between pollen assemblages in surface soil and modern vegetation

and climate in the western Tianshan Mountains, Xinjiang[J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 2022, 44(3): 1070−1082.]

[34] 段荣蕾, 侯光良, 魏海成, 等. 青藏高原东部高寒草甸区放牧家畜粪类花粉组合特征及其环境指示意义[J]. 干旱区地理, 2021, 44(1): 229−239. [Duan Ronglei, Hou Guangliang, Wei Haicheng et al. Characteristics and environmental implications of dung pollen assemblages of grazing livestock in alpine meadow in the eastern Qinghai-Tibetan Plateau[J]. Arid Land Geography, 2021, 44(1): 229−239.]

[35] 李宜垠, 张新时, 周广胜. 中国东北样带(NECT)东部森林区的植被与表土花粉的定量关系[J]. 植物学报, 2000, 42(1): 81−88. [Li Yiyin, Zhang Xinshi, Zhou Guangsheng. Study of quantitative relationships between vegetation and pollen in surface samples in the eastern forest area of northeast China transect[J]. Acta Botanica Sinica, 2000, 42(1): 81−88.]

[36] 许清海, 曹现勇, 田芳, 等. 中国北方典型草原区花粉产量及其定量重建古植被的作用[J]. 中国科学: 地球科学, 2013, 43(12): 2016−2028. [Xu Qinghai, Cao Xianyong, Tian Fang, et al. Pollen yield and quantitative reconstruction of palaeo-vegetation in typical steppe regions of northern China[J]. Scientia Sinica (Terrae), 2013, 43(12): 2016−2028.]

[37] Dimbleby G W. Pollen analysis of terrestrial soils[J]. New Phytology, 1957, 56: 12−28.

[38] Dimbleby G W. Soil pollen analysis[J]. Soil Science, 1961, 12: 1−11.

[39] 桑艳礼. 甘肃兴隆山国家自然保护区表土花粉组合及统计分析[D]. 兰州: 兰州大学, 2008. [Sang Yanli. Pollen assemblages and numerical analysis of surface samples from National Nature Reserve Area of Xinglong Mountain, Gansu[D]. Lanzhou: Lanzhou University, 2008.]

[40] Brun C, Dessaint F, Richard H, et al. Arable-weed flora and its pollen representation: A case study from the eastern part of France [J]. Review of Palaeobotany and Palynology, 2007, 146(1−4): 29−50.

[41] Ge Y W, Li Y C, Bunting M J, et al. Relation between modern pollen rain, vegetation, and climate in northern China: Implications for quantitative vegetation reconstruction in a steppe environment [J]. Science of the Total Environment, 2017, 586: 25−41.

[42] Xu Q H, Zhang S R, Gaillard M J, et al. Studies of modern pollen assemblages for pollen dispersal-deposition-preservation process understanding and for pollen-based reconstructions of past vegetation, climate, and human impact: A review based on case studies in China[J]. Quaternary Science Reviews, 2016, 149: 151−166.

[43] El-Moslinmny A P. The ecological significance of common nonarboreal pollen example from dryland of the Middle East[J]. Review of Palaeobotany and Palynology, 1990, 64: 343−350.

[44] 孙湘君, 杜乃秋, 翁成郁, 等. 新疆玛纳斯湖盆周围近14000年以来的古植被古环境[J]. 第四纪研究, 1994, 14: 239−248. [Sun Xiangjun, Du Naiqiu, Weng Chengyu, et al. Paleovegetation and paleoenvironment of Manasi Lake, Xinjiang, N W China during the last 14000 years[J]. Quaternary Sciences, 1994, 14: 239−248.]

[45] Carrión J S. A taphonomic study of modern pollen assemblages from dung and surface sediments in arid environments of Spain[J]. Review of Palaeobotany and Palynology, 2002, 120: 217−232.

[46] 姚付龙, 夏倩倩, 张静, 等. 西天山南坡表土花粉分析[J]. 应用生态学报, 2019, 30(7): 2301−2308. [Yao Fulong, Xia Qianqian, Zhang Jing, et al. Pollen in surface soil at the southern slope of western Tianshan, China[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2019, 30(7): 2301−2308.]

[47] 杨振京, 张芸, 毕志伟, 等. 新疆天山南坡表土花粉的初步研究[J]. 干旱区地理, 2011, 34(6): 880−889. [Yang Zhenjing, Zhang Yun, Bi Zhiwei, et al. Surface pollen distribution in the southern slope of Tianshan Mountains, Xinjiang[J]. Arid Land Geography, 2011, 34(6): 880−889.]

Indicative study of pollen on vegetation in western Junger Basin

HAN Yueting, LI Jianyong, LIU Jianbo, YANG Rui, NIU Diyuan

(College of Urban and Environmental Sciences, Northwest University, Xi'an 710127, Shaanxi, China)

Abstract: Pollen records have been widely employed as a significant proxy to reconstruct paleovegetation distribution as well as its spatiotemporal evolution worldwide. Due to the marked influence of many factors, such as differences among pollen productivity, transportation mode, biological characteristics of plants, climatic condition, and sedimentary environment, the associated relationship between pollen and vegetation has been shown to be fairly complicated in different regions. As a result, the information regarding the plant community reflected by the pollen assemblage is significantly different from that of the real situation. Therefore, it is clearly necessary to conduct a large number of studies to deeply explore the quantitative relationship between pollen assemblages and vegetation community. Based on vegetation survey and surface pollen data collected from 46 surface soil samples in the western Junggar Basin of Xinjiang, China, this study used various approaches to quantitatively estimate several pollen-based indices representative of vegetation, including the association index (A), underrepresentation index (U), overrepresentation index (O), representative coefficient (R), mean pollen percentage in the absence of vegetation (M_a), mean pollen percentage in the presence of vegetation (M_p), and coefficient of similarity between pollen assemblage and plant community (CC) for 19 major pollen types in our study region. The results of the analysis show that all the 19 pollen taxa can be divided into three groups. The first group includes Chenopodiaceae with A value of 1.0, O and U values of 0, and R value of 12.5. The value of M_p is much higher than M_a, therefore indicating that Chenopodiaceae pollen is over-representative for the corresponding vegetation. The second group consists of *Artemisia* and *Ephedra*, in which A values range from 0.1 to 0.4, O values vary from 0.6 to 0.9, U values are 0, and R values are greater than 18.5. Moreover, the differences in values between M_p and M_a range from 3.6% to 12.1%, implying a strong association between pollen distribution and their parent plants. The third group includes various pollen types of *Nitraria*, Liliaceae, Labiatae, Fabaceae, Poaceae, Asteraceae, Polygonaceae, Ranunculaceae, Rosaceae, Umbelliferae, Brassicaceae, Caryophyllaceae, Convolvulaceae, Urticaceae, and Boraginaceae, with A values of less than 0.6, U values between 0.2 and 0.9, O values between 0.1 and 1.0, and R values of less than 4.0. Moreover, the differences in values between M_p and M_a less than 4.9%, therefore showing that these pollen types are under-representative for the related vegetation. These results provide a basis to improve the reliability of pollen-based vegetation reconstruction.

Key words: pollen; vegetation; representative index; coefficient of similarity; Junggar Basin